

# **CONSTRUCTION DE TROIS PONTS EN BOIS SUR LE TERRITOIRE DE LA FORÊT MONTMORENCY**

**Jean-Philippe Perron, ing. M. Sc. Yannick Maltais, ing. Ph. D.  
CIMA+, 1145, boulevard Lebourgneuf, bureau 300, Québec, Canada, G2K 2K8**

## **RÉSUMÉ**

L'Université Laval a mandaté CIMA+ pour réaliser la conception et la surveillance de trois ponts en bois sur le territoire d'enseignement et de recherche de la Forêt Montmorency. L'un de ces projets consistait à remplacer un pont acier-bois désuet de 2 travées avec pile en rivière par un pont arqué en bois à tablier supérieur d'une longueur totale de 38 mètres. La construction des ponts a été réalisée selon une approche unique et novatrice en matière de développement durable par l'application des principes de carboneutralité.

## **1. MISE EN CONTEXTE**

La Forêt Montmorency est un territoire d'enseignement et de recherche de l'Université Laval qui est situé à environ 70 km au nord de la ville de Québec et qui relève de la Faculté de foresterie, géographie et géomatique. Ce territoire constitue une vitrine privilégiée pour la conscientisation du grand public en matière d'aménagement durable des forêts. Dans ce contexte de valorisation des produits dérivés du bois, la décision des gestionnaires du territoire de favoriser l'utilisation de ce matériau pour le remplacement de trois ponts routiers était un choix stratégique en regard du plan d'aménagement de cette station expérimentale. La firme CIMA+ a été mandatée par l'Université Laval pour les services de conception et de surveillance des travaux de ces trois nouveaux ouvrages.

Les trois ponts ciblés par ce projet permettent de desservir une partie du territoire et de jouer un rôle stratégique dans le développement de la Forêt Montmorency. Ainsi, le premier pont réalisé (portée simple de 21,4 mètres) enjambe la rivière Montmorency sur la route 33. Il permet l'accès aux activités estivales et hivernales sur près de 50 % du territoire. La deuxième structure (pont en arc de 32,8 mètres) enjambe aussi la rivière Montmorency et donne un accès à la portion sud du territoire, soit à environ 25 % du territoire; un secteur important pour les activités récréotouristiques et pour l'approvisionnement en bois. Le troisième pont, de plus faible envergure (portée simple de 10 mètres), enjambe la rivière Blanche et donne accès à 10 % du territoire. Le plan de développement de la Forêt Montmorency pour ce secteur prévoit mettre en valeur la réserve de biodiversité à des fins d'enseignement et de recherche.

Rappelons que l'utilisation du bois d'ingénierie pour la réalisation d'ouvrages routiers est une pratique courante dans plusieurs pays d'Europe et dans le nord-est des États-Unis. Il présente certains avantages indéniables, dont un ratio résistance/poids élevé en comparaison avec d'autres matériaux de construction. Les résultats découlant de son

utilisation ont aussi démontré une efficacité et une durabilité intéressantes, en plus de présenter un esthétisme qui s'harmonise judicieusement à un environnement rural ou forestier. Depuis quelques années au Québec, le bois d'ingénierie est utilisé pour la réalisation de ponts routiers, et ce, essentiellement sur des chemins en milieu forestier. L'utilisation de ce type de matériau demeure toutefois très marginale sur le réseau routier de la province. Toutefois, l'an dernier, le ministère des Transports du Québec faisait l'annonce de la construction d'un premier pont en bois lamellé-collé sur son réseau, plus précisément à Albanel au Lac-Saint-Jean, et ce, dans le contexte de l'implantation d'une nouvelle stratégie gouvernementale d'utilisation du bois dans la construction non résidentielle.

## **2. DESCRIPTION DE TROIS STRUCTURES CONSTRUITES À LA FORÊT MONTMORENCY**

### **2.1 Pont au-dessus de la rivière Montmorency (secteur nord)**

Le pont situé sur la route 33, au-dessus de la rivière Montmorency, surnommé le « pont nord », remplace un pont acier-bois désuet. La nouvelle structure est un ouvrage en bois à travée simple de 21,4 mètres de portée et constituée d'une seule voie carrossable de 4,4 mètres de largeur. Le tablier est composé de huit (8) poutres en bois lamellé-collé de 1 257 mm de hauteur par 184 mm de largeur, surmontées de traverses et de madriers en bois. Afin d'assurer une retenue latérale et verticale efficace, les traverses de bois sont fixées aux poutres au moyen de vis haute résistance de 8 mm de diamètre. Des diaphragmes de bois sont présents entre les poutres aux extrémités de même qu'en travée. Ces derniers sont retenus en place au moyen de tiges d'acier insérées horizontalement entre les poutres et les diaphragmes. L'assemblage poutres-diaphragmes est assimilable à deux caissons en bois de 4 poutres chacun. Des appareils d'appui de type élastomère fretté, de même qu'un système de plaques d'attache, sont présents aux extrémités des poutres. Notons enfin que les unités de fondation sont de type caissons à claire-voie en bois.

Certains détails particuliers ont été intégrés à la conception du tablier afin de maximiser la durabilité des éléments en bois. Premièrement, tous les poutres et diaphragmes sont enduits d'un scellant protecteur pour le bois. Pour protéger le dessus des poutres, un endroit constamment humide dû à l'accumulation des débris (sable, gravier, etc.) entre les traverses de bois, une membrane d'étanchéité et un contreplaqué hydrofuge, surmontés d'une tôle pliée galvanisée, ont été installés en usine sur ces éléments. De plus, afin d'éviter l'accumulation de débris sur les assises des poutres et, ainsi réduire l'exposition à l'humidité de l'extrémité des poutres près des appuis, des tôles pliées ont été installées

entre les poutres et fixées aux diaphragmes d'extrémité. Ces tôles permettent ainsi de rediriger les débris qui pourraient provenir du platelage.

La démolition du pont existant et la construction du nouveau pont se sont déroulées en 5 semaines au printemps 2010. Le préassemblage en usine des deux caissons en bois de 4 poutres chacun a permis d'accélérer les travaux au chantier et d'éliminer les risques de problèmes pouvant survenir lors de l'assemblage des poutres de bois au chantier. Ainsi, la construction s'est déroulée sans problème majeur et l'ouvrage est en service depuis la mi-juin 2010. Les photos 1 à 3 illustrent la structure de ce pont.



Photo 1 : Mise en place des poutres préassemblées



Photo 2 : Détails sur les poutres visant à assurer leur durabilité



Photo 3 : « Pont nord » une fois les travaux complétés

## **2.2 Pont au-dessus de la rivière Montmorency (secteur sud)**

La deuxième structure conçue par CIMA+ est un pont arqué en bois à tablier supérieur de 38,4 mètres de longueur. Il se situe également au-dessus de la rivière Montmorency, dans la zone sud du territoire. Pour cette raison, il est surnommé « pont sud » dans ce qui suit.

### 2.2.1 Conception de l'ouvrage

Le système structural est constitué d'un platelage en bois reposant sur 10 poutres droites supérieures et 12 poutres arquées en bois lamellé-collé. La distance entre l'extrémité des poutres arquées est de 32,8 mètres. La largeur des poutres est de 184 mm, tandis que leur hauteur est de 781 mm pour les poutres droites et de 965 mm pour celles arquées. Des diaphragmes en bois sont également présents aux extrémités des poutres supérieures, de même qu'en travée. Deux pièces de bois agissant à titre de béquilles intermédiaires sont présentes approximativement au tiers de la portée des poutres droites supérieures pour améliorer la répartition de la surcharge routière sur les poutres arquées. Au niveau de la zone centrale du tablier, à l'endroit où les poutres droites et arquées s'entrecroisent, des rondelles d'espacement en bois ont été ajoutées entre celles-ci afin de limiter l'accumulation possible d'humidité sur les pièces de bois. Ainsi, aucune poutre n'est directement en contact avec les poutres voisines.

Le platelage est composé de 43 panneaux en bois lamellé-collé de 921 mm de longueur par 4 820 mm de largeur, soit la pleine largeur du tablier. Ces panneaux de 137 mm d'épaisseur sont fixés aux poutres droites par l'intermédiaire de vis haute résistance et surmontés d'un contreplaqué hydrofuge et d'une membrane d'étanchéité autocollante. La surface de roulement est constituée de madriers de bois fixés aux panneaux au moyen de tire-fonds. Une pente longitudinale de 1,5 % est présente sur le tablier permettant d'éviter toute accumulation d'eau. À noter qu'à la demande de l'Université Laval, aucun enrobé bitumineux n'a été posé sur le tablier dans le but de limiter l'utilisation de matériaux dont la fabrication nécessite la production d'une grande quantité de gaz à effet de serre (voir la section 4 pour plus de détails sur le choix des matériaux). Enfin, mentionnons que les détails d'assemblage des dispositifs de retenue ont été inspirés des spécifications et des plans types de ponts du Département des transports de l'État de New York.

### 2.2.2 Travaux en chantier

Pour des raisons liées au transport, les poutres de bois ont été fabriquées en demi-section et assemblées entre elles au chantier. Deux types d'assemblage ont été utilisés pour fixer les poutres les unes aux autres. Premièrement, chacune des demi-poutres arquées possède un assemblage central rigide permettant de rendre la poutre continue. Celui-ci est composé de plaques en acier de 19 mm d'épaisseur insérées à l'intérieur des poutres de bois (de type mortaise) et de 40 goujons en acier de 22 mm de diamètre. Ce type d'assemblage est conçu pour reprendre un moment fléchissant et un effort axial. Le

deuxième type d'assemblage est celui permettant d'assembler les poutres arquées aux poutres droites supérieures. Pour ce faire, quatre (4) séries de six (6) tiges de 38 mm de diamètre ont été utilisées. Ces tiges, qui permettent de reprendre les efforts en cisaillement, sont insérées de façon continue à travers cinq (5) poutres droites supérieures et six (6) poutres arquées; le tout formant un caisson rigide. Au stade de la conception, ce type de tige a été préconisé au détriment d'anneaux fendus afin de faciliter l'installation au chantier. Il est à noter que tous les assemblages ont été conçus par le fabricant des poutres de bois.

Aux extrémités des poutres droites supérieures, des appuis en élastomère fretté ont été utilisés pour transférer les charges provenant du tablier vers les unités de fondation. Au niveau de la base des poutres arquées, les rotules sont constituées de plaques en acier insérées aux poutres (de type mortaise) et boulonnées au moyen de 18 goujons de 22 mm de diamètre. Les plaques de base, reliant six (6) poutres arquées chacune, sont ancrées aux massifs de béton.

Les unités de fondation sont constituées de massifs en béton évidés remplis de pierres sur lesquels reposent des caissons à claire-voie en bois. Les massifs de béton reprennent principalement des poussées horizontales générées par les arcs. Le choix du type de fondation vise à maximiser les matériaux disponibles à proximité du site de construction, et ce, de façon à minimiser le béton à transporter vers le chantier. Notons également que bien que la construction d'un pont arqué à poutres continues (sans rotule centrale) permet de réduire les efforts et les flèches, il s'agit d'un choix qui implique des contraintes au niveau des fondations de l'ouvrage. En effet, ce type de système structural ne permet pas d'accommoder de mouvement au niveau des fondations, sans quoi une redistribution des efforts dans les poutres pourrait engendrer des désordres structuraux. Par conséquent, la capacité portante des sols sous les unités de fondation, de même que la conception de ces unités, nécessitent une attention particulière de la part des concepteurs.

Tel que mentionné plus haut, l'assemblage des poutres a été réalisé au chantier. L'entrepreneur a fait le choix d'assembler les poutres directement au sol (2 caissons de 11 poutres chacun), au lieu de réaliser cette étape au-dessus de la rivière. Cette option présentait l'avantage de faciliter l'assemblage des diverses composantes en plus de ne pas avoir à mettre en place un système d'étaie temporaire pour maintenir en place la charpente de bois à même le lit de la rivière. Par contre, l'assemblage au sol impliquait une mise en place de la structure de bois relativement complexe et audacieuse exigeant des précautions particulières avant le levage de la charpente au moyen d'une grue de grande capacité. L'étape subséquente, qui consistait à fixer l'extrémité des poutres arquées aux massifs de béton, présentait aussi un défi pour l'entrepreneur considérant qu'une grande précision sur l'alignement et le positionnement de la structure était requise pour mener à bien cette étape. Malgré certaines embuches propres à tout chantier, l'érection de la structure de bois a été complétée sans irrégularité. Notons que les travaux

en chantier se sont déroulés entre les mois d'août et de décembre 2010. Les photos 4 à 9 montrent diverses étapes de réalisation de ce projet.



Photo 4 : Construction d'un massif de fondation en béton armé



Photo 5 : Banc d'assemblage des poutres



Photo 6 : Mise en place de la structure d'un caisson composé de 6 poutres arquées et 5 poutres droites



Photo 7 : Fixation des poutres arquées au massif de béton



Photo 8 : Mise en place des contreplaqués sur les panneaux en bois lamellé-collé



Photo 9 : Structure du pont complétée

### 2.3 Pont de la rivière Blanche

La troisième structure réalisée est un pont à travée simple situé au-dessus de la rivière Blanche. Il s'agit d'une structure en bois de 10 mètres de portée et constituée d'une seule voie carrossable de 4,1 mètres de largeur. Le tablier est composé de six (6) poutres en bois lamellé-collé de 722 mm de hauteur par 175 mm de largeur, surmontées de traverses et de madriers en bois. Les détails de conception et la méthode de construction sont similaires à ceux réalisés pour le pont présenté précédemment (voir la section 2.1). La photo 10 montre le système structural de l'ouvrage.



Photo 10 : Vue du dessous du pont

### 3. NORMES DE CONCEPTION

La conception des ouvrages a été réalisée en conformité avec la norme CAN/CSA-S6-06 « Code canadien sur les ponts routiers ». Bien que cette norme puisse s'avérer adéquate pour des ouvrages simples, tels les ponts simplement supportés, celle-ci est toutefois incomplète pour la conception d'ouvrages plus complexes, tels un pont arqué. Ainsi, d'autres normes ont dû être consultées pour couvrir les divers aspects de la conception, dont la norme CAN/CSA-O122, traitant des éléments de charpente en bois lamellé-collé, et la norme CAN/CSA-O86-09 sur les règles de calcul des charpentes de bois. Ces normes traitent, entre autres, de la résistance radiale pour les éléments cintrés soumis à des contraintes radiales (traction de flanc) qui peuvent limiter la résistance au moment de flexion.

Les propriétés mécaniques du bois lamellé-collé utilisées pour les calculs de conception respectent les exigences minimales du chapitre 9 de la norme CAN/CSA-S6-06, mais ont été directement obtenues du fabricant des éléments en bois lamellé-collé. Notons à cet effet que la norme CAN/CSA-S6-06 traite uniquement d'éléments en bois lamellé-collé en sapin de Douglas, alors que la norme CAN/CSA-O86-09 spécifie les propriétés pour diverses essences de bois. Rappelons que l'épinette noire et le sapin de Douglas sont les deux essences de bois utilisées dans les ouvrages réalisés à la Forêt Montmorency. Pour les poutres en bois lamellé-collé du pont nord et du pont de la rivière Blanche (ponts à travée simple), les propriétés de bois répondent aux exigences minimales associées à une classe de contraintes 24F-1.9E. Pour les poutres arquées du pont sud, les propriétés mécaniques minimales spécifiées sont celles respectant la classe de contraintes 24F-1.9EX. Quant aux panneaux en bois lamellé-collé du platelage, les propriétés se devaient de respecter une classe de contraintes ES12. Mentionnons aussi que tous les calculs ont considéré des propriétés mécaniques réduites pour tenir compte d'une condition d'utilisation en milieu humide. Soulignons enfin que chacune des structures a été modélisée avec un logiciel d'analyse approprié (voir la figure 1).

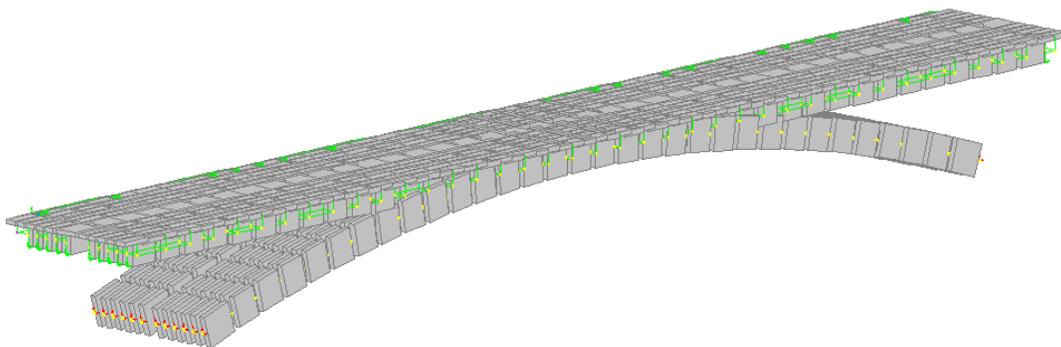


Figure 1 : Modélisation du pont en arc

#### **4. CHANTIERS CARBONEUTRES**

L'élaboration des projets présentés dans cet article constitue une approche unique et novatrice en matière de développement durable par l'application des principes de carboneutralité. Ces principes visent à quantifier, évaluer et neutraliser l'ensemble des émissions des gaz à effet de serre (GES) relatives aux travaux de construction des ponts, dont les émissions relatives aux transports de matériel vers le site des travaux. Ainsi, la compensation des émissions de GES issues de la construction s'effectuera par la plantation d'arbres à même le site de la Forêt Montmorency.

À l'étape des plans et devis, le contexte particulier des projets a influencé le choix des matériaux à privilégier pour les structures à construire, en favorisant le bois au détriment des autres. Rappelons que l'utilisation du bois comme élément de structure contribue à la lutte aux changements climatiques puisqu'il permet de réduire la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique par le processus de séquestration du carbone. De plus, l'utilisation du bois permet de substituer l'emploi de produits dont la fabrication émet de grandes quantités de GES, tels le béton ou l'acier. En plus de retenir le bois pour constituer les éléments structuraux des ponts, ce matériau a aussi été favorisé pour constituer le tablier et la surface de roulement, au détriment d'un pavage en enrobé bitumineux.

À l'étape de la construction des ouvrages, un contrôle étroit a été réalisé sur les chantiers par les surveillants de CIMA+ pour suivre et compiler les temps d'opération des équipements motorisés, les consommations en carburant ainsi que les déplacements relatifs au chantier. Il est important de noter que les documents contractuels de chacun des projets contenaient une clause spécifique sur le contexte particulier du chantier, et que certaines responsabilités étaient dévolues à l'entrepreneur lors de la réalisation des travaux.

Les résultats de la démarche scientifique, qui consiste à quantifier les émissions de gaz à effet de serre, ont été réalisés par ZÉROCO<sub>2</sub>. Les résultats obtenus démontrent que le bilan total des émissions de l'ensemble de travaux de construction des ponts s'élève à 154 tonnes de CO<sub>2</sub>. Afin de compenser ces émissions, une mise en terre d'environ 2 400 épinettes noires sera réalisée à même le site de la Forêt Montmorency.

#### **5. CONCLUSION**

Les trois projets réalisés à la Forêt Montmorency démontrent que l'utilisation du bois d'ingénierie pour la réalisation d'ouvrages routiers est une alternative accessible aux propriétaires et aux concepteurs d'ouvrages et qui s'intègre bien dans un cadre de développement durable. Bien que plusieurs mesures aient été prises lors de la conception de ces ouvrages pour assurer leur durabilité, la construction de ponts en bois présente,

pour l'instant, une certaine incertitude relativement au bon comportement à long terme du bois soumis à des surcharges routières et au climat rigoureux du Québec. Il s'agit toutefois pour l'Université Laval de projets par excellence pour étudier le vieillissement et la performance à long terme de ces structures.

Divers projets de recherche menés par l'Université Laval pourraient découler de la construction de ces trois structures de bois, tels un suivi de la performance des ouvrages par la réalisation d'essais de chargement et la mise en place d'instrumentation, de même qu'un suivi des propriétés mécaniques du bois lamellé-collé. Espérons que ces projets puissent se concrétiser afin que la construction de ces ouvrages contribue à faire progresser les connaissances des structures de bois appliquées au domaine des ponts.

## **5. RÉFÉRENCES**

1. Code canadien sur le calcul des ponts routiers, CAN/CSA-S6-06
2. Règles de calcul des charpentes de bois, CAN/CSA-O86-09
3. Bois de charpente lamellé-collé, CAN/CSA-O122